

アイソトープトレーサー実験における放射能測定 (1)

Radioactivity Measurement in Tracer Experiment

佐藤 乙丸* 加藤 正夫*

Otomaru SATO and Masao KATO

1. まえがき

アイソトープを工場内または野外においてトレーサーとして利用する場合、使用放射能を必要最小限に止め、作業者はいうまでもなく、環境への放射能汚染をたとえ短時間にせよ、できるだけさけることが必要である。一方トレーサー実験から有意義な結果を得るためには、放射能測定値の誤差が一定値以下でなければならない。したがって実験計画の際に、必要な測定系の計数効率があわせておればきわめて便利である。

このような観点から、数年前よりいくつかの測定系を設定して、放射能測定の基礎的実験を行ってきたが、ここでは、その一例として、放射性砂追跡実験時に問題となる、砂の表面上に様に放射性砂が分布している場合の放射能測定について述べる。

2. 実験の概要

漂砂実験にもっとも一般的に使用されるアイソトープは ^{46}Sc である。この ^{46}Sc をイオン交換膜 (旭硝子製の Selmion CMG-10) に交換させて面状の線源を作った。

この場合のイオン交換膜に要求される特性は、イオン選択性が高く、溶液中での電導度が高いこと、溶媒および溶質の拡散速度が低く、機械的強度が大で膨潤による変形が少なく、化学薬品に対して安定なことなどである。CMG-10 は、支持体としてガラス布を含み、水分 23% で厚さ 0.2~0.23 mm、イオン交換膜 1g に 1.1 mg 当量のイオン交換容量を有する交換膜で、筆者らの実験に十分たえるものであった。

まず $\text{S}^{*}\text{c}_2\text{O}_3$ 20 mg を 5 c. c. の HNO_3 で溶かし、水を加えて 100 c. c. にした。この中から ^{46}Sc 溶液 5 c. c. をとり、 HNO_3 を追い出すために蒸発乾固し、蒸留水で再びすすめて 20 c. c. とした溶液をアイソトープ溶液とした。

一方イオン交換膜の小片 (6×6 cm) を切って食塩水に浸けておき、つぎにそれを蒸留水に移し、取り出した膜を 1N-NaOH 溶液に一昼夜浸し、再び水洗の後 1N-HCl 溶液に一昼夜浸し、三度蒸留水で洗浄して線源用のイオン交換膜とした。

はじめこのイオン交換膜を 1 時間上記の ^{46}Sc 溶液に浸けたが、全放射能の約 1/2 しか交換されなかった。このため、浸漬時間を思い切って長くし 3 日間放置したところ、溶液中の放射能はバックグラウンドと等しくなり、100% 交換させることができた。

こうして交換した ^{46}Sc が均一に分布しているかどうかを調べるために、6×6 cm のイオン交換膜から 1 cm² の小正方形を 36 枚切りとり、その中から周辺部中心部など任意に 20 枚を選んで放射能を測定した。その結果イオン交換膜の切口を有する周辺部分、とくに二辺が切口となっている四隅の正方形部分に、中央部分の約 2 倍の ^{46}Sc が付着されていることがわかった。

以上の基礎的実験を行なった後、必要な放射能の ^{46}Sc 溶液を作ってこれを大型バットに移し、所要の半径より 1 cm 大きい円形のイオン交換膜を浸漬して、 ^{46}Sc を吸着させた。3 日後に膜をとり出して乾燥させ周囲 1 cm を切り離して面状線源 ($\phi=10, 20, 40$ cm) とし、これを半径が 2.5 cm ほど大きい 2 枚の塩化ビニール製板の間にはさみ、円板の周囲を接着剤で密封して密封面状線源 ($\phi=15, 25, 45$ cm) とした。実験終了後これらの線源膜を切りとって放射能分布の均一度を調べてみたところ、中心部と端の方とで 20% の放射能差があったが、この種の実験にはほぼ満足すべきものであった。

この面状線源の放射能強度 ($\mu\text{Ci}/\text{m}^2$) の決定には、 ^{46}Sc が二個の 1 MeV 前後の γ 線を同時に放射しているという性質を利用して、 γ 線スペクトルから直接絶対放射能を算出する方法¹⁾ を用いた。すなわち絶対放射能を N (dps)、二個の γ 線の光電ピークおよびサムピークの面積をそれぞれ A_1, A_2, A_{12} とし、スペクトルの全面積を T とすると

$$N = \frac{A_1 A_2}{A_{12}} + T \quad (1)$$

1 cm² の正方形のイオン交換膜 20 枚を重ね、1 $\frac{3}{4}$ $\phi \times 2''$ の NaI (Tl) シンチレーションプローブの前面におき、400 CH の波高分析器で求めた三つのピーク値は図 1 のとおりである。このときの $A_1=25.78, A_2=17.88, A_{12}=1.689, T=165$ (cps) から $N=437.7$ dps すなわち、 $N=11.83$ m μCi 、したがって 0.591 m $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ となる。

一方 $\text{S}^{*}\text{c}_2\text{O}_3$ の状態のときに、地上 1 m の高さで 1

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

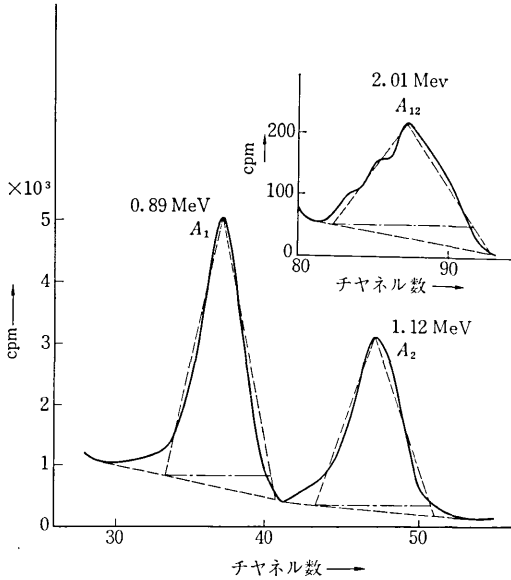


図1 ⁴⁶Sc 面状線源の γ 線スペクトルのピーク値

m の距離で測定した線量率を、⁴⁶Sc の I' 値 (1 mCi の ⁴⁶Sc から 1 m 離れた地点の線量率で 1.1 mr/hr である) で割って求められる放射能強度に減衰時間を考慮して上記の測定時点に換算すると、0.650 μ Ci/cm² となり、約 10% 大きい値となる。これは面状線源作成中に放射能の付着の大きい円周部をほぼ 1 cm づつ切りとっていることを考えれば当然といえよう。

なお ⁴⁶Sc 溶液を用いて、4 π ガスフロー測定による絶対測定も試みたが、この場合は約 20% 小さい値となった。これは ⁴⁶Sc の β 線のエネルギーが低いため 4 π 試料中での自己吸収があったからと考えられる。

以上の結果から最初のガンマ線スペクトルを利用する絶対測定値をもって放射能強度とした。実験は直径 150 cm、高さ 200 cm の水槽の底に 100 \times 100 \times 40 cm の砂箱をおき、深さ 30 cm の砂を入れた後水を適当な深さまで満して行なった (図2)。

検出器は 1 $\frac{3}{4}$ " ϕ \times 2" の NaI(Tl) をとりつけたシンチレーションプローブを塩化ビニールパイプ容器内に収容して使用した。このシンチレーターの方向依存特性は \pm 4% 以内であり、また ⁴⁶Sc の 1.12 MeV の γ 線に対する分解能は 8.7% であった。

まず図2のシンチレーション検出器の直下の砂上に、1.58 μ Ci の ⁴⁶Sc 点状線源を置き、検出器を 5 cm づつ持ち上げて計数率の変化を求め、図3の特性を得た。図から明らかなように、計数率を N' 、吸収係数 μ 、線源と検出器との距離を x とすれば、 $N' \propto e^{-\mu x}$ である。したがって、 $C_0 = 1.58 \mu$ Ci として

$$N' = C_0 \cdot Be^{-\mu x} \quad (2)$$

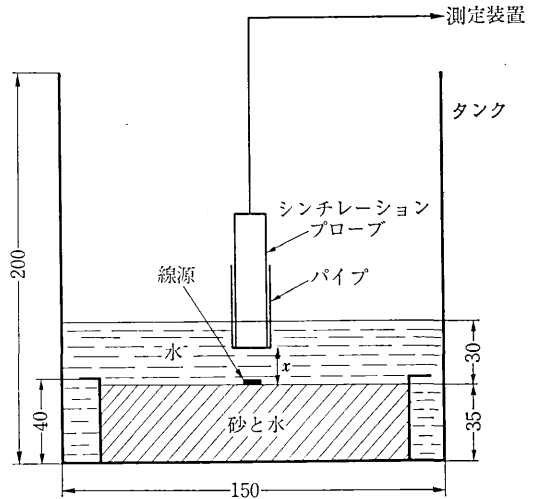


図2 実験装置

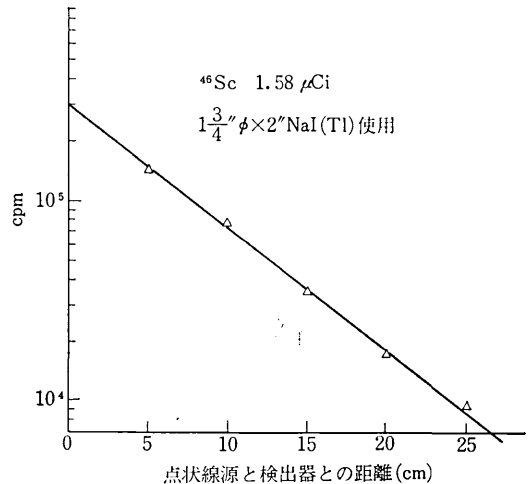


図3 点状線源の計数率特性

とおくことができ、この結果から図2のような水と砂からなる測定系の B と μ を実験的に算出することができる。この測定系の場合、定数 $B = 1.87 \times 10^5$ cpm/ μ Ci、吸収係数 $\mu = 0.137$ cm⁻¹ であった。

つぎに直径 10, 20, 40 cm の面状線源の中心が検出器直下の砂面にあるように設置し、前と同様に検出器を持ち上げて計数率の変化を求め、図4の破線の特性を得た。

3. 結果の考察

面積強度 C (μ Ci/cm²) の面状線源からの放射線計数率 N は、図5に示すように無限小の環帯部分 $2\pi r \cdot dr$ からの計数率 dN を考えると次式であらわせる。

$$dN = 2\pi r \cdot dr \cdot C \cdot Be^{-\mu x} \quad (3)$$

いま $x^2 = a^2 + r^2$ であるから $r \cdot dr = x \cdot dx$ 、したが

研 究 速 報

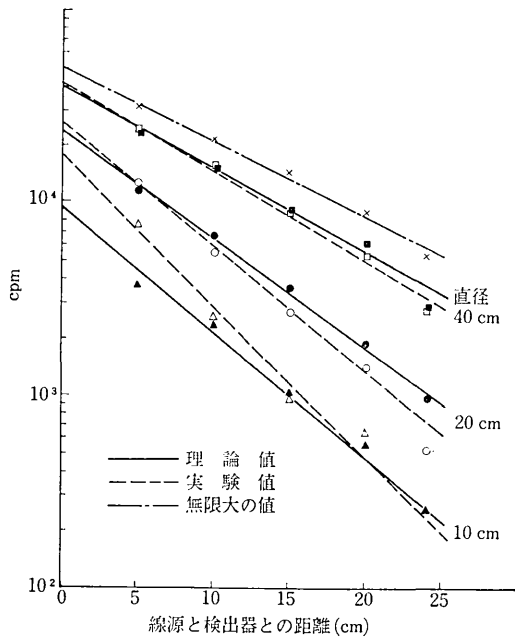


図 4 平面状線源の計数率の理論値と実験値の比較

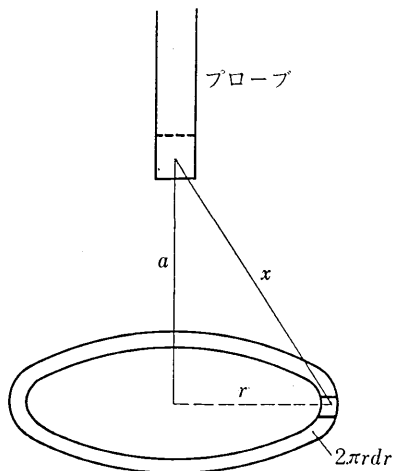


図 5 面状線源検出のジオメトリー

って

$$dN = 2\pi CBxe^{-\mu x} dx \quad (4)$$

となる。

ここで B, μ は砂と水からなる二媒質と測定器によって定まる定数および γ 線吸収係数である。

線源の直径を変えた場合の計数率を計算するために、線源の中心と検出器との距離を a 、線源の端と検出器との距離を b とすれば、半径 $\sqrt{b^2 - a^2}$ の面状線源からの計数率 N は、

$$N = \int_a^b 2\pi CBxe^{-\mu x} dx$$

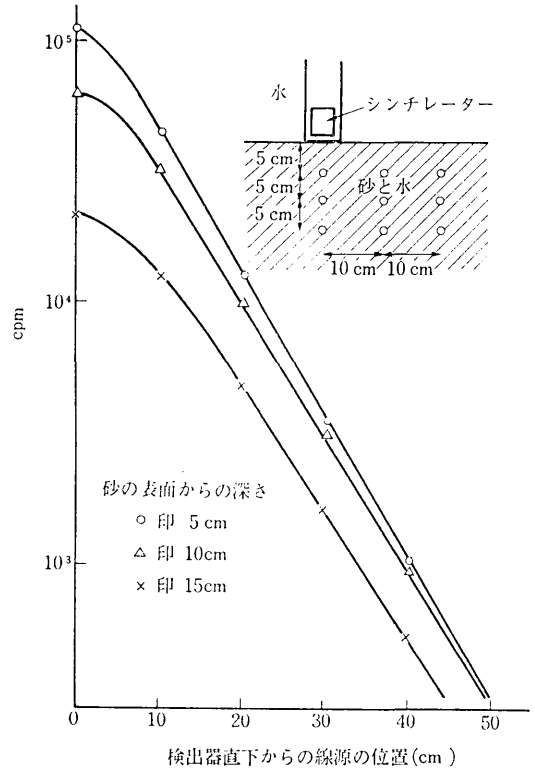


図 6 ^{44}Sc 点状線源を砂中にもぐらせたときの計数率

$$= \frac{2\pi CB}{\mu^2} [(1+a\mu)e^{-\mu a} - (1+b\mu)e^{-\mu b}] \quad (5)$$

また無限大の面状線源すなわち $b \rightarrow \infty$ の場合の計数率 N_∞ は、

$$N_\infty = \frac{2\pi CB}{\mu^2} (1+a\mu)e^{-\mu a} \quad (6)$$

上述の (5), (6) 式に実験的に求めた B, μ の値および、 C の絶対測定値、 a, b の値を代入して N, N_∞ を計算した理論値が図 4 の実線のとおりである。

図 4 から明らかなように、面状線源の直径が大きい場合は、理論値と実験値がほぼ一致するが、直径の小さい場合にかんがりのずれが見られる。この理由は、砂の表面に凹凸があるため、砂と線源との間に水の層が混入し、 B, μ の値が実験的に求めた平均値からずれたこと、線源の面積が小さいため幾何学的配置のずれが大きくなること、および線源の円周部の比較的放射能強度の大きい部分の計数率が有効に計数されたことなどがあげられる。

いづれにせよ面状線源の直径が大きい場合は実験値とよく一致するので、無限大線源の場合の理論値はかなり信頼性があるものと考えられる。放射性砂を追跡する実験においては一部砂中にもぐっている放射能も検出するので、この式をそのままあてはめることにはなお問題が

あるが、船上の測定器に記録された計数率から、測定地点に存在する放射能強度をある程度推定することができる。

放射性砂が砂中にもぐっている場合の検出特性に関しては、試作した面状線源の放射能強度が弱かったため、面状のものについての実験は行うことができなかったが、点状線源を砂の表面から 5, 10, 15 cm の深さに配置し、検出器を $x=0$ の位置に固定してその直下から線源を横へ 10 cm ずつ動かして求めた計数率の変化の一例を示せば図 6 のとおりである。

図 6 はいわば砂と水が混在する媒質内での放射能検出の特性を示すもので、この図で検出器直下の計数率がすべて他の場合と比べて低いのは、この場合にシンチレー

ターの有効断面積が最小となるため、多重散乱したエネルギーの低い γ 線を有効に計数できないからと考えられる。

このような現象を伴うため前述した解析法を適用することができなくなり、別な方法で検討を加えることが必要となる。これらの場合の解析法および砂の中に均一に分散している場合の検出特性²⁾については稿を改めた。

付記 この実験に協力した菊池武元氏および山本英直氏に感謝の意を表します。 (1972年2月28日受理)

文 献

- 1) C. A. Brman, et, al.: Int. J Applied Radiation and Isotopes, 14, 153-157, 1963.
- 2) 加藤正夫・佐藤乙丸: 応用物理, 30, 607~615, 1961.

